

Pengaruh Perbandingan Jari-Jari dan Ketebalan Tabung Aluminum Tipis pada Mode Deformasi dan Gaya Reaksi Maksimum Akibat Pembebanan Aksial Statik

Witono Hardi

Universitas Khairun, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Indonesia
witono@unkhair.ac.id

Abstract

Sebuah tabung aluminum tipis yang diberi pembebanan aksial pada salah satu ujungnya akan mengalami deformasi dengan membentuk pola tertentu pada specimen. Secara umum dapat dibedakan menjadi pola *axisymmetric* dan *non axisymmetric*. Pola deformasi itu sangat dipengaruhi oleh perbandingan jari jari tabung dan ketebalan tabung.

Pada penelitian ini dilakukan pembebanan pada tabung aluminum tipis dengan panjang 100 mm, ketebalan 0.5 mm dan jari jari 12.5 mm, 15 mm, 17.5 mm dan 20 mm. Pembebanan dilakukan secara statis dengan memberikan tekanan sehingga terjadi deformasi maksimum sebesar 70 mm. Pola deformasi yang terjadi dan gaya maksimum direkam kemudian dibandingkan satu sama lain.

Hasil dari percobaan menunjukkan semakin besar jari jari tabung dengan ketebalan yang sama maka semakin besar gaya maksimum yang diperlukan yaitu berturut turut 8735.4 N, 10220 N, 12000 N dan 13895 N. Dari seluruh specimen didapatkan pola deformasi yang *non axisymmetric*.

Kata kunci: pola deformasi, *axisymmetric*, *non-axisymmetric*, gaya maksimum, pembebanan statis

PENDAHULUAN

Tabung tipis merupakan salah satu dari komponen penyerap energi yang mana penyerapan energi terjadi saat proses deformasi elastis maupun plastis pada dinding tabungnya (Alghamdi, 2001). Penggunaan tabung tipis dalam menyerap energi sudah sangat meluas dengan segala keistimewaan yang dimilikinya. Proses penyerapan energi yang dibahas pada penelitian ini adalah akibat pembebanan statik aksial yang searah dengan panjang tabung.

Penelitian silinder shell dengan *finite element method* juga dilakukan dalam rangka menentukan pengaruh impak aksial (Wei, Yu, & Batra, 2006)

Tabung tipis dengan perbandingan jari jari R dan ketebalan H yang dikenakan gaya aksial akan mengalami deformasi dan membentuk pola bukling *axisymmetric* maupun *non axisymmetric* (pola diamond). Beberapa teori memprediksi bahwa jika perbandingan $R/H < 40 - 45$ maka pola deformasinya adalah *axisymmetric* sedangkan di atasnya itu akan membentuk pola *non axisymmetric* (Jones, 1989). Namun demikian pada beberapa kasus terjadi tabung mengalami *switch* selama pengujian berubah dari *axisymmetric* (concertina) menuju *non axisymmetric* (diamond) sebagaimana

dinyatakan oleh Mamalis (Mamalis, 1983). Gambar 1 tengah dan kanan menunjukkan proses *switch* dari concertina menuju diamond sedangkan di sebelah kiri *full axisymmetric*.



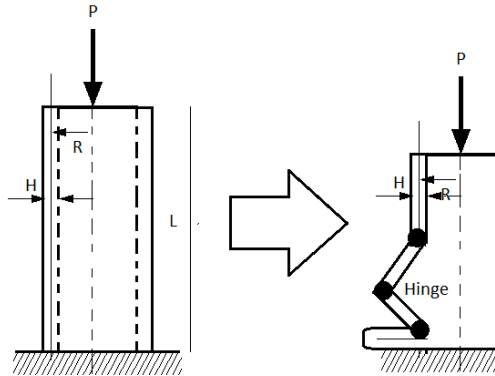
Gambar 1

Full axisymmetric dan switch (Jones, 1989)

DASAR TEORI

Proses pembentukan *axisymmetric buckling*

Teori tentang buckling dapat dinyatakan dengan asumsi bahwa material rigid, plastis sempurna dinyatakan dalam penyederhanaan (Alexander, 1960) adalah sebagaimana pada gambar 2



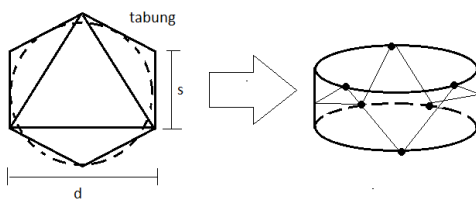
Gambar 2

Proses terbentuknya axisymmetric buckling

Gaya yang berasal dari gaya aksial P diteruskan melalui dinding tipis. Pada dinding dinding tabung akan terbentuk plastic hinge. Proses deformasi plastic berlangsung plastic hinge merupakan bagian yang mengalami perfectly plastic dan bersifat seperti hinge sebagai mana pada gambar 1. Kerja total yang didapat merupakan perkalian antara P dengan total deformasi yang terjadi pada tabung.

Proses pembentukan non-axisymmetric buckling

Pada pola non axisymmetric dapat digambarkan sebagai berikut



Gambar 3

Pembentukan pola diamond pada $n = 3$

Pada gambar di atas adalah diamond dengan $n = 3$. Pola buckling yang terjadi mengikuti bentuk sebagaimana pada gambar 3.

Pada pola diamond dengan n lebih dari 3 prinsip kerjanya sama. Secara teori gaya yang diperlukan untuk terjadi buckling mode diamond lebih kecil daripada mode concertina. Pada kasus switch dari mode concertina ke mode

diamond, mode concertina terjadi pada awal awal proses deformasi yang mana gayanya jauh lebih besar daripada diamond.

METODOLOGI

Pemodelan menggunakan *Finite Element Analysis* yaitu dengan software ANSYS WORKBENCH dengan membuat 4 jenis tabung dengan ketebalan sama tapi jari jari tabung yang berbeda.

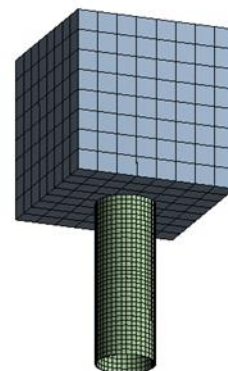
Specimen

Tabel 1
Specimen

Specimen no	Panjang (mm)	Tebal (mm)	Jari jari (mm)	R/H	Bahan
1	100	0.5	12.5	25	Aluminium
2	100	0.5	15	30	Aluminium
3	100	0.5	17.5	35	Aluminium
4	100	0.5	20	40	Aluminium

Meshing

Meshing dilakukan dengan mode surface pada specimen dan solid pada impactor. Ukuran meshingnya yaitu 2 mm pada surface.

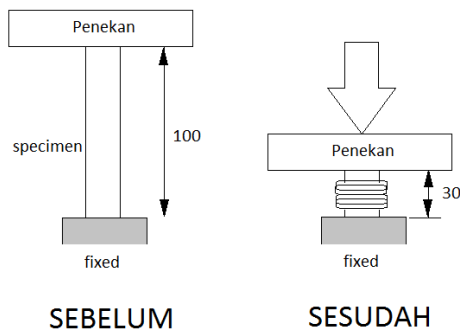


Gambar 4

Meshing pada benda kerja

Pembebanan

Pembebanan dilakukan dengan memberikan displacement sebesar 70 mm sehingga terjadi buckling pada specimen.



Gambar 5

Sebelum pembebanan dan sesudah pembebanan

HASIL DAN DISKUSI

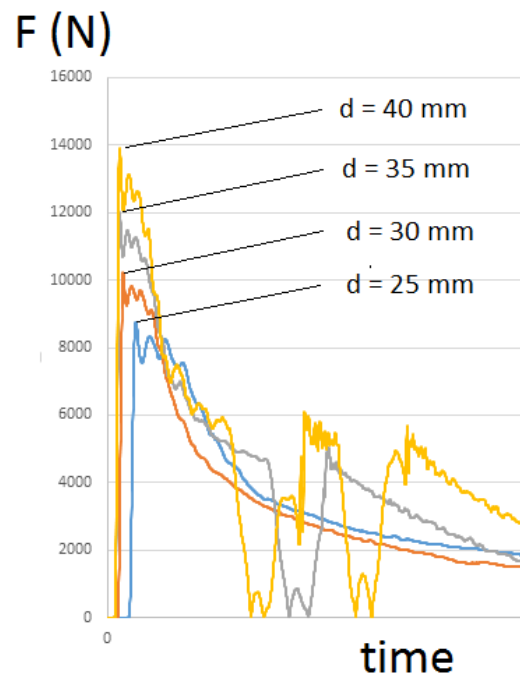
Setelah dilakukan pembebanan maka terjadi deformasi pada specimen. Deformasi dibatasi 70 mm. Pembebanan secara static atau karena sebenarnya terjadi kecepatan impact yang sangat rendah maka dikatakan quasi statik. Jika kecepatan *impact* sampai dengan 10 m/s maka disebut sebagai *quasi static problem* (Jones, 1989).

Pada saat mendapat gaya, efek dari inersia diabaikan. Inertia baru diperhitungkan pada kecepatan tinggi.

Gaya reaksi didapat dengan meneliti gaya yang berada pada tumpuan tetap yang setiap saat memberikan gaya reaksi akibat pembebanan selama pembebanan berlangsung.

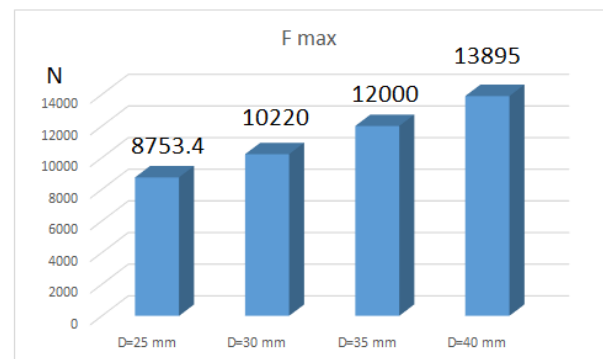
Gambar 6 menunjukkan grafik gaya pada seluruh specimen pada saat pembebanan berlangsung. Grafik dipotong hanya pada awal saja untuk menunjukkan gaya maksimal.

Gaya maksimum terjadi pada puncak pertama pada grafik. Saat itu, ketika awal pembebanan, terjadi deformasi elastis secara linier mengikuti modulus Young yang dimiliki material. Deformasi terus berlangsung sampai dengan titik leleh atau yield point. Pada material aluminum tidak terjadi strain hardening sehingga diasumsikan material elastis perfectly plastis. Puncak dari gaya maksimum terjadi pada pembentukan wrinkle yang pertama.



Gambar 6

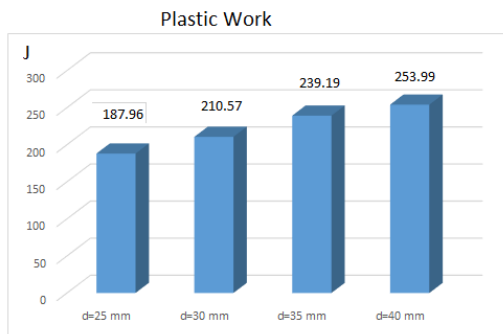
Gaya maksimum terjadi pada puncak pertama dari grafik yang merupakan pembentukan tekukan pertama dari specimen



Gambar 7

Gaya maksimum pada 4 specimen akibat pembebanan

Secara teoritis dapat dijelaskan bahwa tegangan leleh pada material yang sama adalah sama seberapa besar luasan penampang dari specimen. Karena tegangan merupakan gaya per satuan luas maka saat terjadi penambahan diameter specimen terjadi penambahan luas penampang. Agar tegangan leleh senantiasa tetap maka gaya akan menjadi semakin besar. Besar gaya maksimum yang diperlukan yaitu berturut turut 8735.4 N, 10220 N, 12000 N dan 13895 N.

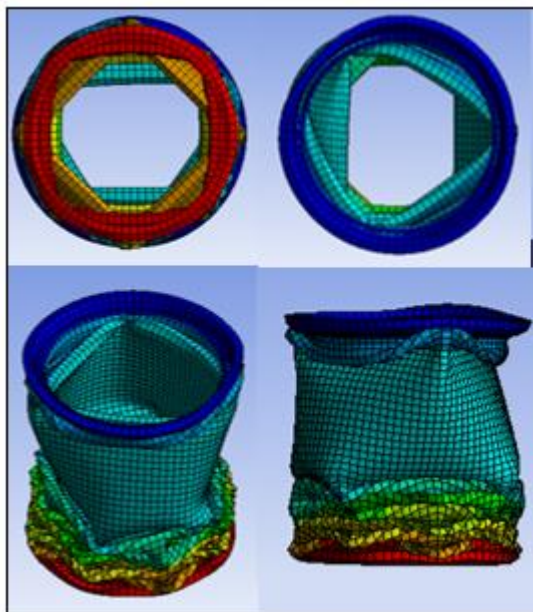


Gambar 8

Plastic Work pada 4 specimen

Plastic work didefinisikan sebagai energi yang diserap selama deformasi plastis berlangsung. Secara matematis adalah energi total dikurangi energi elastis. Pada specimen dengan luasan yang lebih besar pada panjang deformasi yang sama akan lebih banyak plastic work yang timbul. Hal ini disebabkan gaya rata rata pada specimen yang lebih besar akan lebih besar daripada specimen yang lebih kecil diameternya.

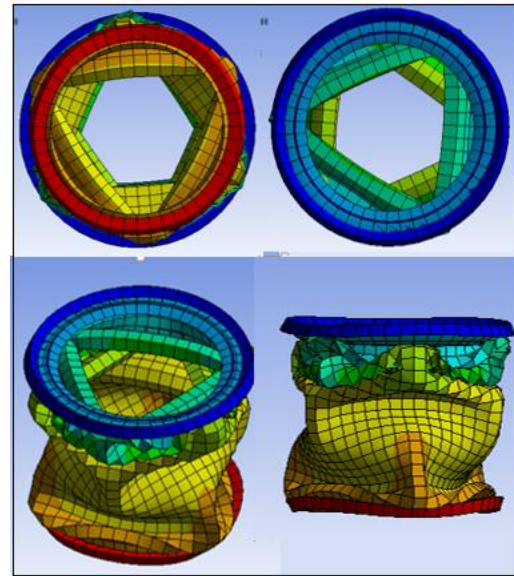
Pola deformasi pada specimen adalah switch antara concertina ke diamond



Gambar 9

Pola Deformasi pada diameter 25 mm

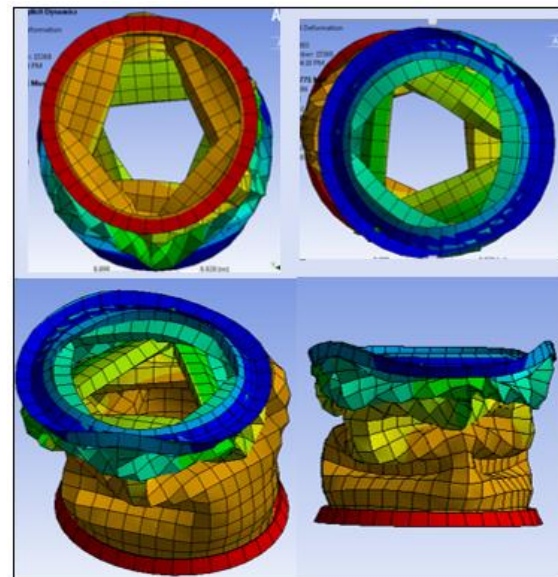
Pada diameter 25 mm terjadi switch antara concertina ke diamond. Terlihat pada ujung awal specimen terjadi concertina wrinkle. Selanjutnya berubah menjadi diamond dengan $N = 4$



Gambar 10

Pola Deformasi pada diameter 30 mm

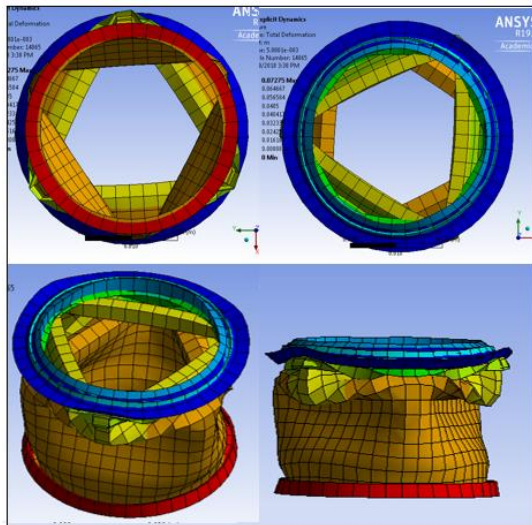
Pada diameter 30 mm terjadi switch antara concertina ke diamond. Terlihat pada ujung awal specimen terjadi concertina wrinkle. Selanjutnya berubah menjadi diamond dengan $N = 3$



Gambar 11

Pola Deformasi pada diameter 35 mm

Pada diameter 35 mm terjadi switch antara concertina ke diamond. Terlihat pada ujung awal specimen terjadi concertina wrinkle. Selanjutnya berubah menjadi diamond dengan N bervariasi antara 3 dan 4



Gambar 12

Pola Deformasi pada diameter 40 mm

Pada diameter 40 mm terjadi switch antara concertina ke diamond. Terlihat pada ujung awal specimen terjadi concertina wrinkle. Selanjutnya berubah menjadi diamond dengan $N = 3$

KESIMPULAN

1. Tabung aluminum tipis panjang 100 mm, tebal 0.5 mm, dengan diameter bervariasi mulai dari 25 mm, 30 mm, 35 mm dan 40 mm yang dikenakan beban penekanan sampai dengan panjang deformasi 70 mm menunjukkan makin besar diameter makin tinggi gaya maksimumnya.
2. Semakin besar diameter dalam kondisi yang sama, semakin besar energi yang diserap
3. Pola buckling pada semua specimen menunjukkan kondisi switch antara concertina dan diamond (Series, n.d.; Stamper, 2015)

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, J. (1960). An Approximate Analysis of the collapse of thin cylindrical shell under Axial Loading. *Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*, 10–15.
- Alghamdi, A. A. A. (2001). Collapsible impact energy absorbers: An overview. *Thin-Walled Structures*, 39(2), 189–213. <https://doi.org/10.1016/S0263->

8231(00)00048-3

Jones, N. (1989). *Structural Impact*. Cambridge.

Mamalis, A. G. (1983). The Quasi-Static Crumpling of Thin-walled Circular Cylinders and Frusta under Axial Compression. *International Journal of Mechanical Sciences*, 713–732.

Series, L. (n.d.). *ANSYS Meshing Advanced Techniques* PADT Lunch & Learn Series PADT (Phoenix Analysis and Design Technologies).

Stamper, E. (2015). *Advanced Meshing Techniques in ANSYS Workbench* Presented by:

Wei, Z. G., Yu, J. L., & Batra, R. C. (2006). Dynamic buckling of thin cylindrical shells under axial impact. *International Journal of Impact Engineering*, 32(1–4), 575–592.

<https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2005.07.008>